

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-256634

(43)Date of publication of application : 25.09.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/10

H04J 14/00

H04J 14/02

(21)Application number : 09-057263

(71)Applicant : HITACHI LTD

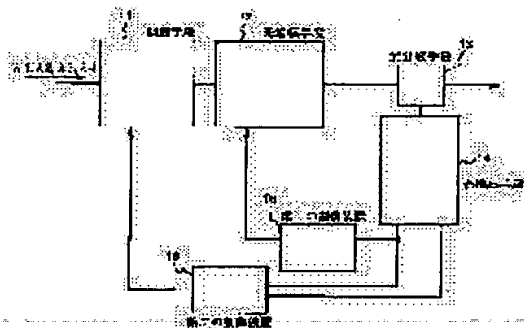
(22)Date of filing : 12.03.1997

(72)Inventor : KOSAKA JUNYA

**(54) OPTICAL AMPLIFIER, CONTROL METHOD THEREFOR AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM EMPLOYING IT****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical amplifier having a wide input dynamic range in which the flatness of waveform can be corrected automatically.

**SOLUTION:** The optical amplifier comprises a regulation means 11 being introduced with a multiplex input light, means 12 for amplifying the multiplex light from the regulation means 11 optically, means 13 for branching the multiplex light from the optical amplifying means 12, means 14 for detecting a light partially branched by the branching means 13, and first and second control means 16, 18 for controlling the regulation means 11 and the optical amplifying means 12, respectively, by a detection signal from the detecting means 14 such that the branched multiplex light is kept at a specified level while sustaining specified waveform flatness characteristics.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

D11/4

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-256634

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

H 0 4 J 14/00

H 0 4 B 9/00

E

14/02

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-57263

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月12日

(72) 発明者 小坂 淳也

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株

式会社日立製作所情報通信事業部内

(74) 代理人 弁理士 高橋 明夫 (外1名)

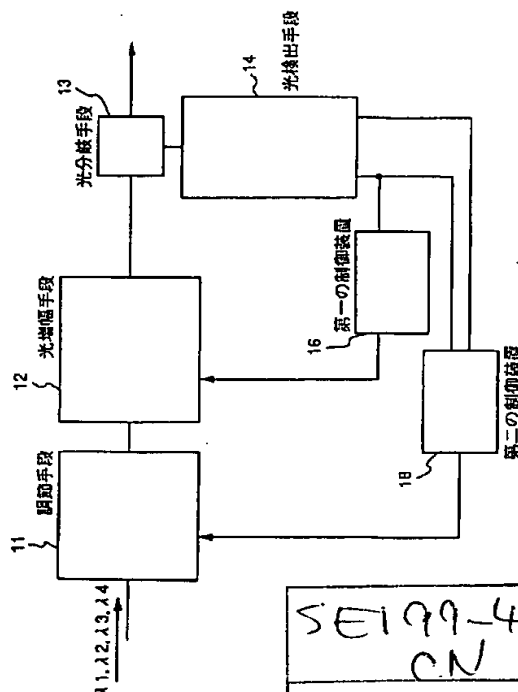
(54) 【発明の名称】 光増幅装置および光増幅装置の制御方法ならびに光増幅装置を用いた光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 広入力ダイナミックレンジを有し、かつ波長平坦性を自動的に補正する光増幅装置を提供する。

【課題を解決手段】 入力した多重光が導入される調節手段11と、調節手段11よりの多重光を増幅する光増幅手段12と、光増幅手段12よりの多重光を分岐する分岐手段13と、分岐手段13によって一部分岐された光を検出する検出手段14と、検出手段14よりの検出信号によって、分岐された多重光を所定値、且つ所定の波長平坦特性を維持されるよう、調節手段11と光増幅手段12とをそれぞれ制御する第一、第二の制御装置16、18とから構成するものである。

図 4



SEI99-41  
CN  
03.11.-7

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力された多重光の光パワーを調節する調節手段と、前記調節された多重光の光パワーをそれぞれ増幅する光増幅手段と、前記増幅された多重光の一部を出力光とすると共に、他の一部を検出光として分岐する光分岐手段と、前記分岐された検出光を入力させる光検出手段と、前記光検出手段からの出力信号により前記調節手段と前記光増幅手段とを制御する制御装置とを備え、

前記調節手段の発生させる利得特性を前記光増幅手段の利得特性と逆特性となるようにし、前記光増幅手段の光パワーの出力利得特性が所定値で平坦化されるように構成したことを特徴とする光増幅装置。

【請求項2】 請求項1記載の光増幅装置において、前記調節手段は、入力多重光を複数の波長帯域光に分岐する分岐部と、発射する励起光を分岐する分岐部材を備えた励起光源と、前記分岐された複数の光と前記分岐された励起光を合波する複数の光合波器と、前記合波光を導入する増幅率の異なる複数の稀土類ドープ光ファイバと、前記増幅された合波光の内、所望の波長帯域光のみを通過させる複数の帯域通過フィルタと、前記フィルタ通過後の複数の波長帯域光を合成する光合成器とからなり、

前記光増幅手段は、励起光を発射する励起光源と、前記入力多重光と前記励起光源よりの励起光を合波する光合波器と、前記合波光を増幅する稀土類ドープ添加光ファイバとからなり、

前記光検出手段は、分岐光を二つの経路に分岐する分岐部と、前記分岐部に接続された第一の光検出器と、前記分岐部に特定の波長光のみを通過させる帯域通過フィルタを介して接続された第二の光検出器とからなり、前記制御装置は、前記第一の光検出器からの第一のモニタ信号で前記光増幅手段を制御する第一の制御手段と、前記第一のモニタ信号と前記第二の光検出器からの第二のモニタ信号とで、前記調節手段を制御する第二の制御手段とからなることを特徴とする光増幅装置。

【請求項3】 請求項2記載の光増幅装置において、前記稀土類ドープ光ファイバは、エルビウムドープ光ファイバとしたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項4】 請求項2記載の光増幅装置において、前記第一の光検出器は複数の波長帯域光の全光パワーを検出して第一のモニタ信号とし、前記第二の光検出器は帯域通過フィルタにより特定の波長光のみの光パワーを検出して第二のモニタ信号とし、

前記第一の制御手段は、前記第一のモニタ信号と基準電圧とを比較し、当該比較信号で前記光増幅手段の励起光源を制御し、当該光増幅手段利得の波長特性レベルを調整し、

前記第二の制御手段は、前記第一のモニタ信号を分割して得られた前記複数の波長帯域光の平均光パワーと、前記

第二のモニタ信号の特定波長光の光パワーとを比較し、当該比較信号で前記調節手段の励起光源を制御し、当該調節手段のもつ前記光増幅手段利得の波長特性とは逆方向特性のレベルおよびその傾きを調節するように構成したことを特徴とする光増幅装置。

【請求項5】 請求項2記載の光増幅装置において、前記調節手段の帯域通過フィルタは、多重信号光の高利得端もしくは低利得端に位置する波長であることを特徴とする光増幅装置。

【請求項6】 光増幅媒体の利得特性を補償する光増幅装置の制御方法において、前記光増幅媒体の利得特性と逆利得特性を生じさせ、当該光増幅媒体が有する利得特性を所定値で平坦化することを特徴とする光増幅装置の制御方法。

【請求項7】 請求項6記載の光増幅装置の制御方法において、前記逆利得特性の変化させることを特徴とする光増幅装置の制御方法。

【請求項8】 請求項6記載の光増幅装置の制御方法において、

光増幅媒体よりの光出力レベルを検知して、光増幅媒体の利得特性を制御すると共に、前記光出力の利得平坦性を検知して前記逆利得特性を制御することを特徴とする光増幅装置の制御方法。

【請求項9】 請求項6記載の光増幅装置の制御方法において、

複数の波長帯域光の全光パワーを検出し、帯域通過フィルタを用い特定波長光のみの光パワーを検出し、前記検出した全光パワーと基準電圧との比較信号で光増幅媒体の利得特性値を調整し、

前記全光パワーから得た前記複数の波長帯域光の平均光パワーと、前記特定波長光の光パワーとの比較信号で前記逆利得特性のレベルおよびその傾きを調節することを特徴とする光増幅装置の制御方法。

【請求項10】 光送信装置と、光増幅装置と、光受信装置と、これら各装置を接続する多重光ファイバとからなる多重光伝送システムにおいて、

前記光増幅装置に請求項1ないし5記載のいずれかの光増幅装置を用い、前記多重光ファイバの後段に当該光増幅装置を設置することを特徴とする多重光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光増幅制御方法および光増幅装置ならびに光増幅装置を用いた光伝送システムに係り、特に、波長多重光伝送方式に採用するに好適な光増幅装置およびこの光増幅装置を用いた光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光通信システムの低コスト化要求

3

に伴って、単一の光伝送ファイバーに複数の異なる波長の信号光を多重して伝送する、いわゆる波長多重光伝送方式が検討されている。一方、光増幅装置は、増幅波長帯域が広く、且つ低雑音での増幅が可能のため、波長多重光伝送における増幅装置として好適である。光増幅装置を構成する希土類添加光ファイバや半導体増幅器には、利得の波長依存性があり、増幅後の各波長の光出力または利得に波長間偏差が生じる。

【0003】前記波長間偏差は、特に、光増幅装置による多段中継によって積算され、中継後の光パワーの波長間の偏差が拡大する。その結果として、多重された光波長の内、最も低いパワーを有する光波長のN/S比の劣化によって全システムの最大中継伝送距離が制限される。従って、各波長の光出力の偏差がない平坦性が確保され得た利得特性を有する光増幅器を提供することが重要となっている。そこで、従来の方式としては、例えば電子通信情報学会、技法OCS94-66、OPE94-88(1944-11)「ファイバ増幅率制御を用いた光ファイバ増幅器の多波長一括増幅特性平坦化」として述べられている方式がある。

【0004】前記従来の方式は、入力パワの変化に対し、複雑、且つ変化する形状となる波長-光パワーの特性曲線を所定の条件で一定とし、その所定の条件下で利得特性が補償されていた。すなわち、4波を波長多重した-11dBmの信号光を光増幅器に入力し、増幅された信号光全体の光出力をモニタし、この出力レベルが一定になるように、ファイバゲインを制御するファイバゲインコントローラ(以下、AFGCという)を用いている。これによって、ファイバゲインを12dB一定に制御することにより、各波長間偏差を最小にしている。また、光減衰器によるオートパワーコントローラ(以下、APCという)により、ファイバゲインを12dB一定に保ちつつ光損失を調整し、中継増幅率を変えてもファイバゲイン・スペクトルを変化させないようにしている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】実際、光通信システムにおいて光増幅装置を適用する場合、伝送スパン長が一定しない用途が考えられる。図9を参照してそのような用途の一例を説明する。図9は、伝送スパン長が一定でない光伝送システムにおいて光増幅装置を適用した場合のブロック図である。図中、1は光受信装置、2は光増幅装置、3は光合波器、4a、4b、4cは、光送信装置である。前記光送信装置4aから光合波器3まで、光送信装置4bから光合波器3まで、および光送信装置4cから光合波器3までの伝送距離はそれぞれ異なっている。分図(a)に示す如く、前記光送信装置4a、光送信装置4bおよび光送信装置4cからの波長多重送信光信号が、光合波器3を通過して光増幅装置2によって増幅されたのち、光受信装置1に配送される。分図(b)

4

に示す如く、それぞれの光送信装置4a、4b、4cよりの波長多重送信光信号が光受信装置1に配送される時間帯は、それぞれ割り当てが定まっている。すなわち、光信号を時系列的に、予め定められたいずれかの光送信装置から受信する、いわゆる時分割多元接続(以下、TDMAという)と呼ばれる伝送方式を示したものである。

【0006】前記方式では、光送信装置から光増幅装置までの伝送距離が一定ではなく、伝送距離の長い光送信装置から波長多重信号光が配送される時間帯は、光増幅装置への光入力レベルが低くなる。逆に、伝送距離の短い光送信装置から波長多重信号光が配送される時間帯は光増幅装置への光入力レベルが高くなる。これら全ての入力信号光に対して、均等に光増幅を行うためには、広い入力ダイナミックレンジを有する光増幅装置を適用することが必須であるという問題があった。

【0007】また、伝送スパン長が必ずしも一定しない箇所に、複数の光増幅装置を配置するシステム構成も考えられる。伝送スパン長が異なれば、スパン損失も異なり、信号入力レベルは配置される箇所によって異なる。信頼性の高い伝送システムを簡単、且つ確実に構築するためには、あらゆる伝送スパン長に対応可能な入力ダイナミックレンジを確保できる光増幅装置を適用することが望ましいという問題がある。

【0008】しかし、上記従来例の技術は、入力レベルを-11dBmに固定した場合の検討のみを行っている。上記従来技術の方式で、例えば入力ダイナミックレンジを-30dBmから0dBmまでの30dBmを確保したとすれば、ファイバゲインを12dBmに一定としている。このため、信号のレベルに応じて、ファイバ出力レベルは、-18dBmから+12dBmまで変化する。このとき、APCを用いて全入力ダイナミックレンジ内で光出力を一定に制御したとすれば、前記光出力を-18dBm以下にせざるを得ず、通常的光送信パワーの1/100程度となり、実用上問題がある。

【0009】前記問題を解決するためには、ゲインを12dBより向上させることが必須の課題となるが、一般に希土類添加光ファイバにおいて、高ゲインを確保すればするほど、波長平坦性の実現は困難となるという問題があり、上記従来の方式においては、12dBの小ゲイン増幅の場合についてのみ検討されており、30dBを越えるゲインを確保し、且つ波長平坦性を実現するための方法並びに施策については検討がなされていない。

【0010】また、光ファイバのゲインの向上を行ったとしても、従来方式のようにゲインを一定に制御している限り、入力信号が大きくなると、希土類添加光ファイバの特性上ゲインの飽和が生じ、上記全ての入力ダイナミックレンジ内で、30dBを越えるゲインを確保することは原理的に不可能であって、結局入力ダイナミックレンジを拡大させることは困難となるという問題がある。すなわち、上記従来例は、極く限られた条件内での

特性を示したものであって、実システム適用の際には解決すべき多くの課題が多い。

【0011】また、他の課題として、例えば従来の方式において適用した波長は、1548nm、1551nm、1554nm、1557nmであって、従来のファイバでも比較的平坦性が実現されている波長領域であり、これ以上の適用波長領域を拡大するためには、ファイバ自体の平坦化領域をさらに拡大させなければならないという新たな課題が発生する。

【0012】また、光増幅装置全体において、ゲインの損失となる光減衰は、光増幅器全体の増幅効率を劣化させたり、雑音指数を劣化させる要因の一つとなる。上記従来例では、光減衰器を用いているが、光減衰が光増幅装置の特性に及ぼす悪影響やその対策については検討されていない。

【0013】さらに、光増幅装置の一般的な特性として、波長の多重数が変化することによって波長平坦性の度合いが変化することが知られている。上記従来例においては、4波長多重時に限定した波長平坦性が検討されており、波長多重数が変化したときの波長平坦性変化に対する対策は検討されていないという問題があった。

【0014】本発明は、かかる従来技術の問題点を解決するためになされたもので、広入力ダイナミックレンジを有し、少ない能動デバイスのみで、簡単に多数の信号光の波長平坦性を実現し、各波長および波長多重数が変化に対して増幅効率劣化や雑音指数劣化を抑圧し、自動的に波長平坦性を実現する光増幅装置および光増幅装置の制御方法ならびに光増幅装置を用いた光伝送システムを提供することをその目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明に係る光増幅装置の構成は、入力された多重光の光パワーを調節する調節手段と、前記調節された多重光の光パワーをそれぞれ増幅する光増幅手段と、前記増幅された多重光の一部を出力光とすると共に、他の一部を検出光として分岐する光分岐手段と、前記分岐された検出光を入力させる光検出手段と、前記光検出手段からの出力信号により前記調節手段と前記光増幅手段とを制御する制御装置とを備え、前記調節手段の発生させる利得特性を前記光増幅手段の利得特性と逆特性となるようにし、前記光増幅手段の光パワーの出力利得特性が所定値で平坦化されるように構成したことを特徴としたものである。

【0016】また、前項記載の光増幅装置において、前記調節手段は、入力多重光を複数の波長帯域光に分岐する分岐部と、発射する励起光を分岐する分岐部材を備えた励起光源と、前記分岐された複数光と前記分岐された励起光を合波する複数の光合波器と、前記合波光を導入する増幅率の異なる複数の稀土類ドープ光ファイバと、前記増幅合波光の内、所望の波長帯域光のみを通過させ

る複数の帯域通過フィルタと、前記通過後の複数の波長帯域光を合成する光合成器とからなり、前記光増幅手段は、励起光を発射する励起光源と、前記入力多重光と前記励起光源よりの励起光を合波する光合波器と、前記合波光を導入し増幅する稀土類ドープ添加光ファイバとからなり、前記光検出手段は、分岐光を二つの経路に分岐する分岐部と、前記分岐部に接続された第一の光検出器と、前記分岐部に、特定の波長光のみを通過させる帯域通過光フィルタを介して接続された第二の光検出器とからなり、前記制御装置は、前記第一の光検出器からの第一のモニタ信号で前記光増幅手段を制御する第一の制御手段と、前記第一のモニタ信号と前記第二の光検出器からの第二のモニタ信号とで、前記調節手段を制御する第二の制御手段とからなることを特徴としたものである。

【0017】さらに、前項記載の光増幅装置において、前記稀土類ドープ光ファイバは、エルビウムドープ光ファイバとしたことを特徴としたものである。またさらに、前項記載の光増幅装置において、前記第一の光検出器は複数の波長帯域光の全光パワーを検出して第一のモニタ信号とし、前記第二の光検出器は帯域通過光フィルタにより特定の波長光のみの光パワーを検出して第二のモニタ信号とし、前記第一の制御手段は、前記第一のモニタ信号と基準電圧とを比較し、当該差信号で前記光増幅手段の励起光源を制御し、当該光増幅手段利得の波長特性の大きさを調整し、前記第二の制御手段は、前記第一のモニタ信号を分割して得られた前記複数の波長帯域光の平均光パワーと、前記第二のモニタ信号の特定波長光の光パワーとを比較し、当該差信号で前記調節手段の励起光源を制御し、前記光増幅手段利得の波長特性と、逆向き特性の大きさおよびその傾きを調節するように構成したことを特徴としたものである。前項記載の光増幅装置において、前記調節手段の帯域通過フィルタは、多重信号光の高利得端もしくは低利得端に位置する波長であることを特徴としたものである。

【0018】上記目的を達成するために、本発明に係る光増幅装置の制御方法の構成は、光増幅媒体の利得特性を補償する光増幅装置の制御方法において、前記光増幅媒体の利得特性と逆特性の増幅利得を生じさせ、光増幅媒体が有する利得特性を所定値で平坦化することを特徴とするものである。前項記載の光増幅装置の制御方法において、前記生じさせた逆特性の増幅利得を変化させることを特徴とするものである。前項記載の光増幅装置の制御方法において、光増幅媒体よりの光出力レベルを検知して、光増幅媒体の利得特性を制御すると共に、前記光出力の利得平坦性を検知して前記逆特性の増幅利得を制御することを特徴とするものである。前項記載の光増幅装置の制御方法において、複数の波長帯域光の全光パワーを検出し、帯域通過光フィルタを用い特定波長光のみの光パワーを検出し、前記検出した全光パワーと基準電圧との比較信号で光増幅媒体の利得特性値を調整し、前記全

光パワーから得た前記複数の波長帯域光の平均光パワーと、前記特定波長光の光パワーとの比較信号で前記逆利得特性のレベルおよびその傾きを調節することを特徴とする光増幅装置の制御方法。

【0019】上記目的を達成するために、本発明に係る多重光伝送システムの構成は、光送信装置と、光増幅装置と、光受信装置と、これら各装置を接続する多重光ファイバとからなる多重光伝送システムにおいて、前記光増幅装置に請求項1ないし3記載のいずれかの光増幅装置を用い、前記多重光ファイバの後段に当該光増幅装置を設置することを特徴とするものである。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る光増幅制御方法および光増幅装置ならびに光増幅装置を用いた光伝送システムの実施の形態を図1ないし図8を参照して説明する。

【0021】まず、本発明の構成を説明する前に、まず、その理論的背景を説明すれば以下の通りである。図1は、光増幅手段としてのエルビウム添加光ファイバのゲイン特性の波長依存性の線図、図2は、本発明の一実施形態に係る光増幅装置の各構成手段における波長依存性の特性線図である。図1は、波長の相違による光増幅媒体として適用されたエルビウム添加光ファイバにおける信号光波長1540nm、1545nm、1550nm、1555nmの4波長の利得特性を示したものである。一般的に言えば、エルビウム添加光ファイバによって増幅可能な波長域は、1520nm～1570nmとなっているが、この波長領域のゲイン特性は、波長依存性を有している。また、前記波長依存性も信号光ゲインもしくは信号光入力パワーによって変化する。

【0022】説明を簡単にするために、図2においては、図1の各信号光波長1540nm、1545nm、1550nm、1555nmの4波長の利得を各構成手段毎（調節手段、光増幅手段、光増幅装置）に、その大きさの順に左から1550nm、1555nm、1545nm、1540nmの順に並べ直したものである。上述した如く、光増幅手段によって増幅された信号光波長の平坦性は、信号光ゲインや、入力信号光のパワーの増減によって変化する。例えば、光増幅手段では、図2（b）に示す如く、平均光出力のパワーが一定で、且つ入力信号光のパワーが減少したとき、信号光波長の利得形状は、図の下向きの矢印のように変化し、入力信号光のパワーが増加したとき、信号光波長の利得形状は、図示上向きの矢印のように変化する。

【0023】このような、理論的背景に着目し、本発明に係る光増幅装置は、図2（b）に示した利得特性の波長特性の大きさのみを調整する光増幅手段と、図2

（a）に示す前記図2（b）の利得特性の波長特性とは逆向きの大小関係を有し、且つ簡単に利得の波長特性の傾きを調節できる調節手段を具備させたものである。

【0024】前記調節手段は、図2（a）に示す矢印の向き（上向き）に出力レベルが変化すると傾きが大きくなり、逆に図2（b）に示す矢印の向き（下向き）に出力レベルが変化すると、傾きが小さくなるものである。したがって、図2（c）に示すように、調節手段と光増幅手段とを通過した信号は、各波長ごとに等しい利得を有し、全ての波長の出力が一定となるよう調節されるものである。また、光増幅手段に図2（b）に示す利得特性に変化が生じた場合には、調節手段の利得特性を対応させて利得特性に変化させ、結果的に、図2（c）に示すように各波長毎に、等しい利得を有するように補正制御するものである。

【0025】図3を参照して、各構成手段における光入出力レベルを説明する。図3は、本発明に係る調節手段および光増幅手段の光入出力レベルのダイヤグラム図である。上記の如く、全ての波長の出力が一定となるためには、図示するごとく、光増幅手段の特性が、図3の右半分に示す如く、矢印の向き（下向き）に入力レベルが減少したときに傾きが拡大する。これに対して調節手段の特性は、図3の左半分に示す如く、矢印の向き（上向き）に出力レベルが増加したときに傾きが拡大する特性でなければならない。調節手段に前記特性を具備させることによって、光増幅手段の入力レベル、すなわち調節手段の出力レベルは、光増幅装置の利得が平坦化されるように一義的に決定される。結果的に、調節手段と光増幅手段とを制御することによって、全ての入力ダイナミックレンジの入力信号光を、平坦、且つ一義的に、安定で所定値に収束させることができる。

【0026】次に、図4を参照して、本発明の一実施形態に係る光増幅装置の具体的構成を説明する。図4は、本発明の一実施形態に係る光増幅装置のブロック構成図である。図4に示すように、伝送ファイバよりの信号光は、例えば $\lambda_1=1540\text{nm}$ 、 $\lambda_2=1545\text{nm}$ 、 $\lambda_3=1550\text{nm}$ 、 $\lambda_4=1555\text{nm}$ の四つの波長が、単一の光ファイバに多重されて伝送されている。

【0027】前記伝送信号は、調節手段11に導入されたのち、各信号光の光パワーが調節され、光増幅手段12に導入される。前記光増幅手段12では各波長の信号光がともに増幅が行われ、光出力として導出される。前記光増幅手段12よりの導出された多重光出力の光出力は光分岐手段13から光出力となり、その一部が分岐される。前記分岐された光出力は光検出手段14によって検出される。前記検出された信号光は、第一の制御手段16および第二の制御手段18によって、増幅された多重光出力が予め所定値になるよう、且つ波長平坦性が保たれるよう、光増幅手段12および調節手段11を制御する構成となっている。

【0028】図4の光増幅装置を更に具体的に説明する。図5は、図4の光増幅装置の具体的構成例のブロック図である。図5において、伝送された4波長多重信号





は、調節手段11に導入されたのち、各信号光の光パワーが調節され、光増幅手段12に入射する。前記光増幅手段12は、光合波器12aと、これに直列に接続されたエルビウム添加光ファイバ12bと、前記光合波器12aに励起光を入射する励起光源12cとから構成されている。

【0029】前記光増幅手段12への入射光が、光合波器12aを通過してエルビウム添加光ファイバ12bに導入される。また、前記の如く光合波器12aには、励起光源12cより励起光が導入されるので、当該励起光も励起光エルビウム添加光ファイバ12bに導入され、当該励起光がエルビウム添加光ファイバ12bを励起することになる。多重信号光 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ は、励起状態のエルビウム添加光ファイバ12bによって増幅されたのち、光増幅手段12から導出される。前記導出され光増幅手段12よりの光出力の一部は、光分岐手段13により分岐され、分岐された光出力は光検出手段14によって検出される。

【0030】前記光検出手段14は、光分岐部14aと、当該光分岐部14aと接続される第一の光検出器14bと、前記光分岐部14aと接続する帯域通過光フィルタ14cを介して接続される第二の光検出器14dとから構成されている。前記第一の光検出器14bで検出された検出光はカップラ15で分岐されて二つの出力信号となり、前記第二の光検出器14dで検出された検出光も出力信号となる。

【0031】さらに、詳細に説明すると、例えば光カップラ5等で構成した光分岐部14aによって二つの経路の光に分岐され、一の経路光は、第一の光検出器14bに取り込まれることによって光出力の全パワーをモニタし、第一の光検出器14bからの第一のモニタ信号として、第一の制御装置16および第二の制御装置18に送り出される。また、分岐された他の一の経路光は、例えば波長1540nmのみの光を通過させる帯域通過光フィルタ14cを介して第二の光検出器14dに取り込まれる。これにより、入力される波長多重信号、 $\lambda_1=1540\text{nm}$ 、 $\lambda_2=1545\text{nm}$ 、 $\lambda_3=1550\text{nm}$ 、 $\lambda_4=1555\text{nm}$ の内、例えば $\lambda_1=1540\text{nm}$ の信号のレベルのみをモニタすることが可能となり、前記第二のモニタ信号として第二の制御手段18に送出する。

【0032】前記第一の制御装置16は、比較器16aと、基準電圧源16bとからなり、前記比較器16aでは、前記第一の光検出器14bからの第一のモニタ信号と、基準電圧源16bからの所定の基準値信号とを比較し、その差信号を検出する。前記比較器16aによる検出された差信号を励起光源12cに伝達し、光出力の全パワーが一定となるように、フィードバック制御を行うものである。これにより、光増幅手段12は、光出力の全パワーを一定値に増幅することができる。

【0033】次に、第二の制御装置18では、比較器1

8aと、分割回路18bとからなり、前記比較器18aは、第一の光検出器14bからの第一のモニタ信号を分割回路18bによって波長数で分割することにより、単一波長あたりの平均光パワーを検出することができる。また、第二の光検出器14dからの第二のモニタ信号は、前記比較器18aに取り込まれる。次に、比較器18aにおいて、第一のモニタ信号を分割回路18bより波長数で分割された単一波長あたりの平均光パワーと、前記取り込まれた第二のモニタ信号の特定波長の光パワーが、その大小関係と差が比較される。

【0034】前記比較器18aにおいて、差信号が正である場合には、調節手段11を差信号の大きさに応じて変化させ、図2(a)の矢印の上向きに動作させる。前記比較器18aにおいて、差信号が負である場合には、調節手段11を差信号の大きさに応じて変化させ、図2(a)の矢印の下向きに動作させるよう構成されている。

【0035】このような構成により、単一波長あたりの平均光パワーに対して第二の光検出器14dによって検出された、例えば1540nmの光パワーが低い場合には、調節手段11を図2(a)の上向きに調節することによって、図2(c)のように傾きを補正し、逆に、例えば1540nmの光パワーが高い場合には、調節手段11を図2(a)の下向きに調節することによって、図2(c)のように傾きを補正することが可能となる。この場合、選択される波長は、傾きが最も顕著に現れるよう、図2の(a)ないし(c)の各図に示されている最も左あるいは右に位置する波長、図2では、1550nmもしくは1540nmであることが望ましい。

【0036】次に、調節手段1の一実施形態を図6を参照して説明する。図6は、本発明の一実施形態に係る光増幅装置の調節手段の説明図である。図示する如く、調節手段11は、多重入力信号を分岐する光カップラ11aと、励起光を発射する励起光源11gと、分岐した多重入力信号と励起光を合波する各光合波器11b<sub>1</sub>、11b<sub>2</sub>、11b<sub>3</sub>、11b<sub>4</sub>と、前記合波光を増幅するそれぞれ利得増幅率の異なる各エルビウム添加光ファイバ11c<sub>1</sub>、11c<sub>2</sub>、11c<sub>3</sub>、11c<sub>4</sub>と、前記増幅各エルビウム添加光ファイバ11c<sub>1</sub>、11c<sub>2</sub>、11c<sub>3</sub>、11c<sub>4</sub>を合成する光カップラ11eとから構成されている。

【0037】多重入力信号光 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ は、光カップラ11aによって4経路に分岐される。前記4経路に分岐され信号光と、励起光源11eから励起光とを合波する各光合波器11b<sub>1</sub>、11b<sub>2</sub>、11b<sub>3</sub>、11b<sub>4</sub>を介して、それぞれ利得増幅率の異なる各エルビウム添加光ファイバ11c<sub>1</sub>、11c<sub>2</sub>、11c<sub>3</sub>、11c<sub>4</sub>に導入される。前記各エルビウム添加光ファイバ11c<sub>1</sub>、11c<sub>2</sub>、11c<sub>3</sub>、11c<sub>4</sub>において増幅を受けた合成光は、各帯域通過光フィルタ11d<sub>1</sub>、11d<sub>2</sub>、11

10

20

30

40

50



## 11

d<sub>3</sub>、11d<sub>4</sub>によって、それぞれ所望の波長帯域の光のみを通過させる。ここで用いられた各帯域通過光フィルタの波長帯域は、例えば、それぞれ6nmである。前記光フィルタを通過した光は、光カップラ11eによって再び合波され出力される。

【0038】また、励起源として0.98μmの励起光源11gからの励起光は、光カップラ11fによって分岐されたのち、それぞれの前記光合波器11b<sub>1</sub>、11b<sub>2</sub>、11b<sub>3</sub>、11b<sub>4</sub>を介して導入され、それぞれの経路のエルビウム添加光ファイバ11c<sub>1</sub>、11c<sub>2</sub>、11c<sub>3</sub>、11c<sub>4</sub>に導入される構成となっている。前記励起光は、ほぼ均等に分岐されるが、これに対して各経路に具備されたエルビウム添加光ファイバ11c<sub>1</sub>、11c<sub>2</sub>、11c<sub>3</sub>、11c<sub>4</sub>の設定条件を図7を参照して説明する。

【0039】図7は、図6の実施形態におけるエルビウム添加光ファイバの利得を長さとし励起光パワーをパラメータとした特性線図である。図7(a)は、エルビウム添加光ファイバの長さとし利得の関係を波長1550nmに対して励起光パワーを変えてプロットしたグラフである。同様に、図7(b)は、1555nm、図7(c)は、1545nm、図7(d)は、1540nmに対して示したもののグラフである。また、図7(e)は、各波長に対する利得が光増幅媒体としてのエルビウム添加光ファイバの波長特性と逆特性となるように、長さを設定した時の波長毎の利得を示したものであって、図2

(a)に示したものと基本的に同様のグラフである。前記グラフに明らかなように、本実施の形態の如く調節手段を構成すれば、光増幅手段と逆特性を有する調節手段は、簡単に構成可能であり、また、唯一つの励起光源よりの励起光パワーの調整のみによって傾きを調節することが可能となる。

【0040】エルビウム添加光ファイバを図7(e)のグラフの利得特性を具備するように設定する簡単な方法を説明する。まず、4つの波長1540nm、1545nm、1550nm、1555nmの光パワーを独立に変化させることの可能な光源を用意する。これを波長多重信号光として光増幅手段に入力する。この入力レベルは予定するレベルの中央付近に位置することが望ましい。光増幅手段の光出力が、所望のパワーに制御され、且つ平坦性が実現されるよう、それぞれの光源の光パワーを調整する。調整した光源の光パワーをそれぞれ測定する。

【0041】次に、本発明の光増幅装置への入力のダイナミックレンジの中央付近の光パワーを持ち、且つ平坦性が実現されている波長多重信号光を設定する。前記波長多重信号光を、本発明の実施形態の調節手段に入力し、励起光パワーを調節範囲の中央付近、例えば各20mWに設定する。各波長毎に前記測定された信号レベルになるよう、エルビウム添加光ファイバの長さを設定す

## 12

る。前記長さは、予め少し長めに設定しておき、ファイバ融着装置等の機材を用いて切断しつつ、最適な長さとなるよう融着して接続することが望ましい。このようにすれば、簡単に調節手段内のエルビウム添加光ファイバの長さを設定することが可能である。

【0042】本実施形態では、エルビウム添加光ファイバを長さによって利得が異なるよう設定したが、エルビウムの添加量によって増幅率を調整するようにしても差し支えない。光増幅装置の特性は、雑音指数によっても示すことができる。一般に、増幅効率の高い波長に対してエルビウム添加光ファイバが長すぎると、雑音指数が劣化する傾向にある。本実施形態による調節手段によれば、図7から明らかな如く、増幅効率の高い波長のファイバを短くするため、雑音指数を個々の波長に対応して抑圧させる効果を有している。また、従来技術のように、光減衰器を使用していないため、増幅させつつ調節することが可能なため、光増幅装置全体の利得効率を劣化させたり、雑音指数を劣化させることはない。

【0043】さらに、本実施形態の調節手段によれば、波長の多重数が光増幅装置の動作中に変化したとしても、平坦性を実現する制御を継続させることが可能である。このようにすれば、従来技術の如く、複数の光増幅手段を配設し、その各励起光源を調整するのと異なり、ただ一つの光増幅手段と、その励起光源のみ調整することによって、あらゆる波長多重信号光のレベル制御を行うことができる。

【0044】また、本実施の形態では波長多重数を4としたが、波長の多重数はいくつであっても差し支えない。その際、分岐数を増加させることによって対応させることができる。また、実際には、入力レベルが変化しても、傾きがほとんど変わらない波長領域が存在することがある。この場合には、その帯域の波長をまとめて一経路とし、分岐数を減らしても差し支えない。また、その際、一経路とした波長の傾きを補正する光フィルタを通過させることによって、より波長の平坦性が実現可能である。また、光増幅手段と調節手段の位置関係は逆であっても差し支えない。さらに、本実施の形態では、光出力を一定にする制御としたが、利得を一定にする制御や、励起光源パワーあるいは励起電流を一定にする形態であっても差し支えなく、その際には、第一の制御装置が利得一定制御や励起光源制御を行うようにすれば差し支えない。

【0045】次に、本発明の一実施形態の光増幅装置を光伝送システムに適用した場合について説明する。図9は、本発明の一実施形態に係る光増幅装置を用いた伝送スパン長が一定しない光伝送システムのブロック図である。入力ダイナミックレンジの広い本発明の一実施形態に係る光増幅装置2を光受信装置1の前段に設置する点に特徴を有し、前述した如く、信頼性が高く、且つ適用範囲の広いTDMAの光伝送システムを容易に構築する

13

ことができる。なお、光増幅装置2は、光合波器3の後段に設置しても差し支えない。

【0046】さらに、図8を参照して、本発明の一実施形態の光増幅装置を用いた伝送スパン長が一定しない光伝送システムに適用した他の場合について説明する。図8は、本発明の一実施形態に係る光増幅装置を用いた伝送スパン長が一定しない他の光伝送システムのブロック図である。図中において、光送信装置は、それぞれスパン長、80km、30km、60kmの異なる光伝送ファイバ21、22、23、光増幅装置は、それぞれ3

1、32、33である。

【0047】本光伝送システムにおいては、それぞれ光伝送ファイバ21、22、23の伝送方向の後段に設置する点に特徴を有しているものである。前記光伝送ファイバ21、22、23のスパン長が相違することによるスパン損失の相違や信号入力レベルの相違に対応して前記各光伝送ファイバの後段に入力ダイナミックレンジの広い光増幅装置を設置した構成とすることにより、各光増幅装置においても波長平坦化を実現して、安定した光出力を送出することが可能となり、光伝送システムの信頼性を向上させることができる。

【0048】

【発明の効果】以上、詳細に説明した如く、本発明の構成によれば、かかる従来技術の問題点を解決するためになされたもので、広入力ダイナミックレンジを有し、少ない能動デバイスのみで簡単に、多数の信号光の波長平坦性を実現し、各波長およびに波長多重数が変化に対して増幅効率劣化や雑音指数劣化を抑圧し、自動的に波長平坦性を実現する光増幅媒体制御方法ならびに光増幅装

14

置を用いた光伝送システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光増幅媒体としてのエルビウム添加光ファイバのゲインの波長依存特性線図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る光増幅装置の各構成手段における波長依存性の特性線図である。

【図3】本発明に係る調節手段および光増幅手段の光入出力レベルのダイアグラム図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る光増幅装置のブロック構成図である。

【図5】図4の光増幅装置の具体的な構成例のブロック図である。

【図6】本発明の一実施形態に係る光増幅装置の調節手段の説明図である。

【図7】図6の実施形態におけるエルビウム添加光ファイバの利得を長さ $L$ と励起光パワー $P$ をパラメータとした特性線図である。

【図8】本発明の一実施形態に係る光増幅装置を用いた伝送スパン長が一定しない他の光伝送システムのブロック図である。

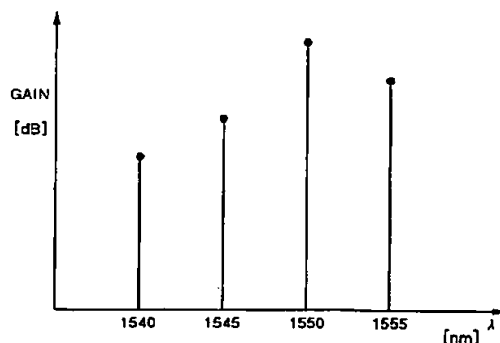
【図9】本発明の一実施形態に係る光増幅装置を用いた伝送スパン長が一定しない光伝送システムのブロック図である。

【符号の説明】

1…光受信装置、2…光増幅装置、3…光合波器、4a、4b、4c、4d…光送信装置、11…調節手段、12…光増幅手段、13…光分岐手段、14…光検出手段、15…光カプラ、16…第一の制御装置、18…第二の制御装置

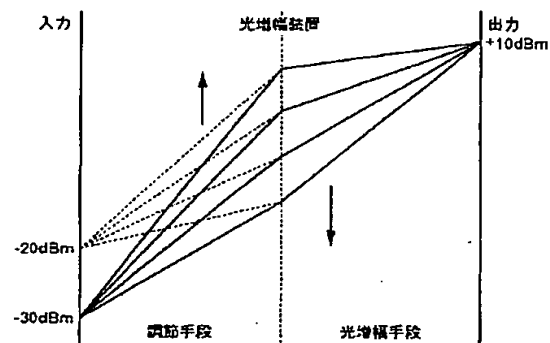
【図1】

図 1



【図3】

図 3



【図2】

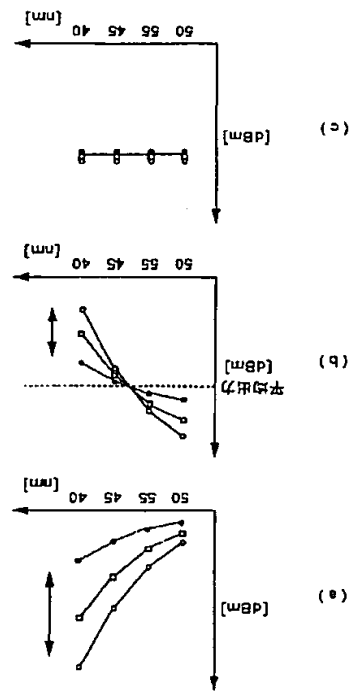


図 2

【図4】

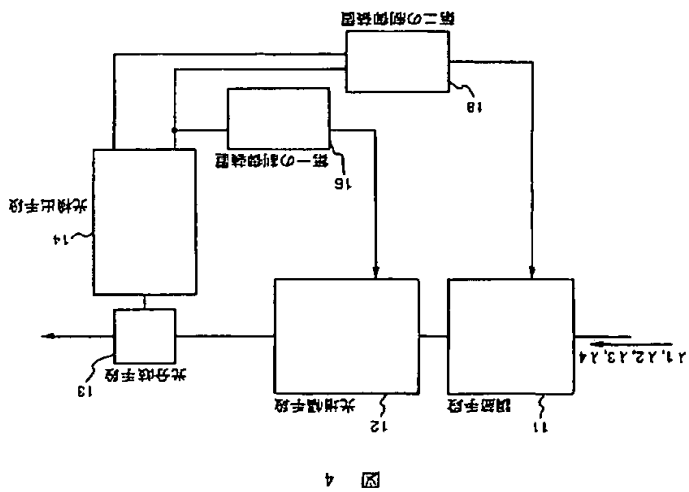


図 4

【図7】

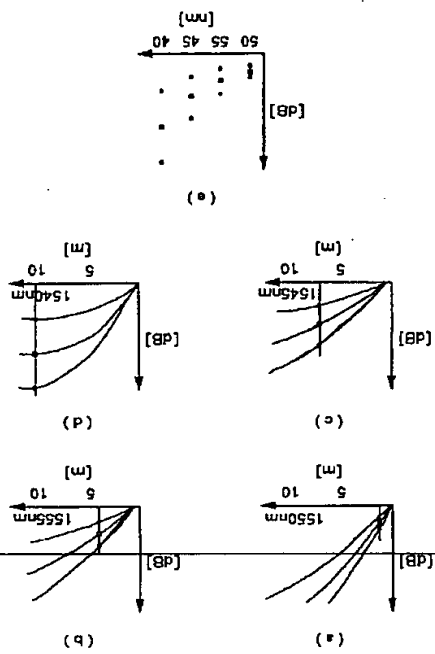


図 7

【図6】

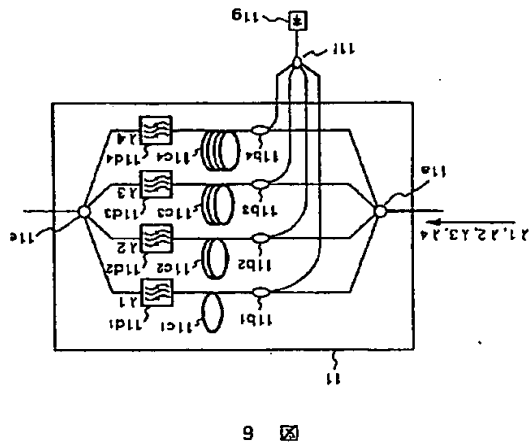
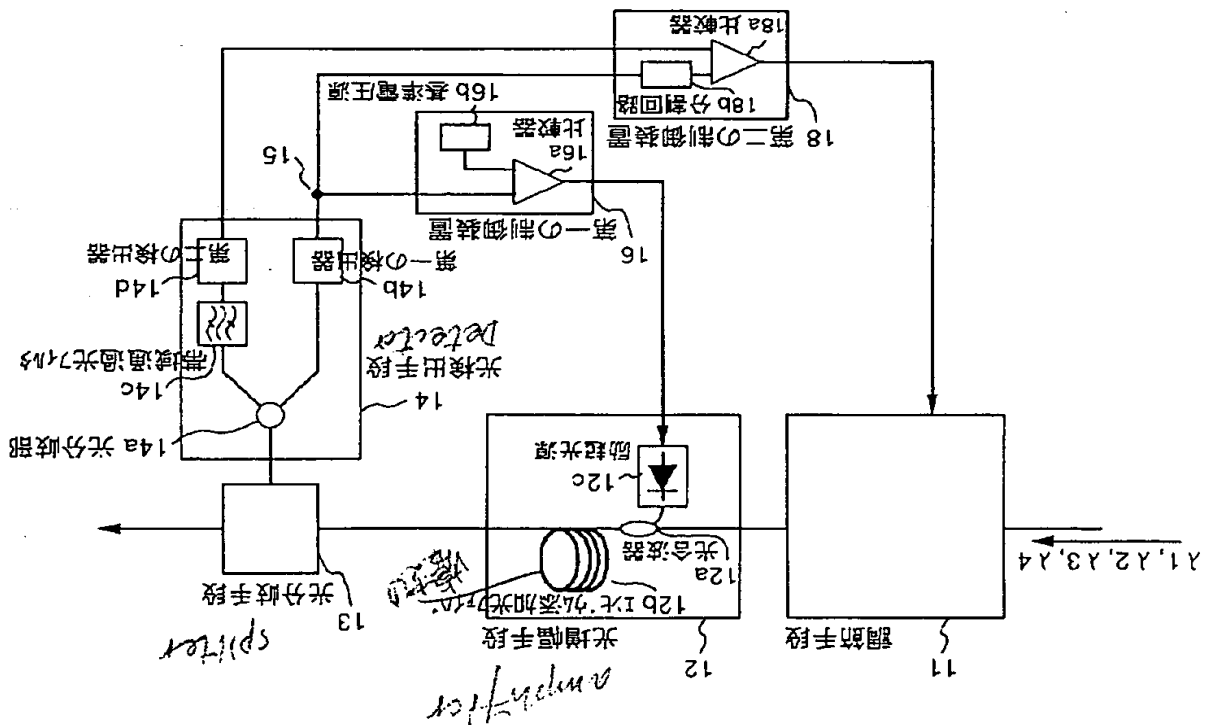


図 6

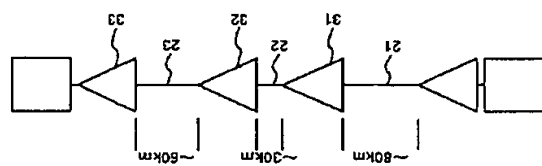
【図5】

図 5



【図8】

図 8



(a)

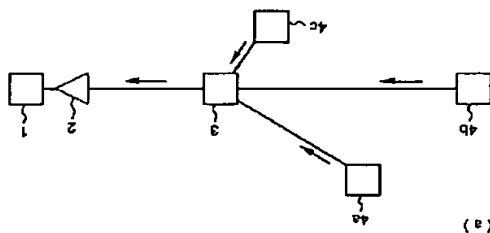


図 9

【図9】

(b)

